

**Министерство образования Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Хабаровский государственный технический университет»**

## **РАСЧЕТ ШИХТЫ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Методические указания к практической работе  
для студентов специальностей 110400 и 121200  
“Литейное производство черных и цветных металлов”  
и “Технология художественной обработки материалов”

**Хабаровск  
Издательство ХГТУ  
2003**

УДК 621.74

Расчет шихты для выплавки легированной стали: Методические указания к практической работе для студентов специальностей 110400 и 121200 “Литейное производство черных и цветных металлов” и “Технология художественной обработки материалов” / Сост. А.Ф. Мащенко, А.В. Щекин – Хабаровск: Изд-во Хабар.гос.техн.ун-та, 2003. – 32 с.

Методические указания разработаны на кафедре „Литейное производство и технология металлов” в соответствии с учебным планом на основании рабочей программы дисциплины „Производство отливок из стали”. Для специальностей 110400 и 121200 “Литейное производство черных и цветных металлов” и “Технология художественной обработки материалов”. Рекомендуются к использованию при курсовом и дипломном проектировании.

Печатается в соответствии с решениями кафедры литейного производства и технологии металлов и методического совета института информационных технологий.

Главный редактор Л.А. Суевалова  
Редактор О.А. Матюшина  
Компьютерная верстка А.В. Щекина

© Издательство Хабаровского  
государственного технического  
университета, 2003

Министерство образования Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Хабаровский государственный технический университет»

Утверждаю в печать  
Ректор университета  
д-р техн. наук \_\_\_\_\_ С.Н. Иванченко  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2003 г.

**РАСЧЕТ ШИХТЫ  
ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Методические указания к практической работе  
для студентов специальностей 110400 и 121200  
“Литейное производство черных и цветных металлов”  
и “Технология художественной обработки материалов”

Составили: А.Ф. Машенко  
А.В. Щекин

Рассмотрены и рекомендованы  
к изданию кафедрой "Литейное производство  
и технология металлов"  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2003 г.

Зав. кафедрой ЛПиТМ, д.т.н., профессор \_\_\_\_\_ Ри Хосен

Рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим советом  
института информационных технологий  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2003 г.

Председатель совета \_\_\_\_\_ Клепиков С.И.

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Стратечук О. В.

Хабаровск  
Издательство ХГТУ  
2003

## **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Освоить методику и приобрести навыки расчета шихты для выплавки легированной стали в дуговой печи с кислой футеровкой, в том числе с применением персонального компьютера.

### **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Наиболее широко применяемым способом получения жидкой стали в литейном производстве является плавка стали в дуговой электрической печи. Учитывая что в подавляющем большинстве случаев при плавке стали используются различные по содержанию углерода составляющие металлозавалки, плавка ведется методом окисления, который позволяет в конечном итоге получить заданное количество углерода в жидкой стали. Для получения требуемого содержания углерода в состав шихты вводят помимо металлолома и отходов собственного производства передельный чугун или электродный бой. Количество передельного чугуна в шихте не должно превышать 10...20 %, иначе сера, вносимая с ним может превысить предельное содержание ее в выплавляемой стали.

При плавке стали в дуговых электропечах, основную часть шихтовых материалов загружают в печь при завалке. Это вторичные металлы, возврат собственного производства, передельный чугун и такие мало окисляющие легирующие компоненты как никель, медь и др. Количество мелкой шихты, включая стружку, доходит до 20...30 %, крупных кусков до 30 % и кусков средних размеров 40...50 %. Часть шихтовых материалов вводят в печь в конце окислительного и в восстановительный период и даже после основного раскисления стали.

Феррохром присаживается в печь после предварительного раскисления, потому что при введении его в нераскисленный металл возможно небольшое

его окисление. Никель в процессе плавки почти не окисляется, поэтому время присадки его в печь не имеет существенного значения. Но, учитывая наличие в никеле водорода и влаги целесообразнее давать его в завалку, что позволит удалить водород в окислительный период плавки.

Молибден окисляется незначительно и его можно присаживать в печь в окислительный период плавки. Вольфрам и ванадий в процессе плавки окисляются весьма интенсивно, поэтому их присаживают в печь в восстановительный период. Титан один из наиболее активно взаимодействующих элементов с кислородом, поэтому легирование титаном производится непосредственно перед выпуском стали из печи и даже в ковше. Ферромарганец применяется для предварительного раскисления, а для окончательного ферросилиций и алюминий.

Плавка стали без окисления применяется преимущественно при выплавке легированных и высоколегированных сталей с целью максимального использования легирующих элементов, содержащихся в отходах производства. Плавка в данном случае ведется с ограничением окислительных процессов, без подачи железной руды и кислорода. Шлак при этом стараются не удалять или удаляют только после восстановления легирующих элементов молотым ферросилицием, что позволяет максимально использовать усвоение легирующих элементов из отходов производства. Отрицательным моментом плавки стали без окисления, является невозможность удаления из расплава углерода, фосфора, водорода.

При плавке стали в печи с кислой футеровкой можно применять только чистые по фосфору и сере исходные шихтовые материалы, вследствие невозможности проведения дефосфорации и десульфурации. В кислых печах возможно восстановление кремния из футеровки и шлака углеродом и другими более активными к кислороду элементами, что ограничивает возможность выплавки сталей содержащих титан, алюминий, цирконий и др. элементов.

Рекомендации к расчетам шихты и пояснения по нормам расхода, влиянию компонентов шихты на процесс плавки приведены в табл. 1-10.

## **2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ШИХТЫ**

Химический состав стали. Для расчета шихты студент получает у преподавателя вариант задания в соответствии с табл. 10, знакомится с химическим составом стали, и четко уясняет задачу. При расчете шихты следует брать средние значения химических элементов, входящих в состав стали. Выплавка сталей производится в дуговых печах с основной футеровкой.

Шихтовые материалы. В качестве основных компонентов шихты принимают возврат собственного производства (химический состав возврата идентичен по составу рассчитываемой стали), стальной лом и передельный чугун. Специальные легирующие присадки вводятся в шихту или в жидкий металл при необходимости дополнительного легирования стали.

Ферромарганец, ферросилиций и алюминий применяются для раскисления и доводки расплава по марганцу и кремнию, а также для легирования, когда их содержание в стали должно быть более 0,8 % каждого. Количество возврата зависит от массы отливки, количества прибылей, конструкции литниковой системы и др. При получении стальных отливок в разовых песчаных формах максимальное количество возврата достигает 45 %.

Ориентировочный состав основных шихтовых материалов, применяемых для выплавки стали, приведен в табл. 11. При выполнении расчетов обязательно пользоваться соответствующими ГОСТами на составы компонентов шихты.

Угар элементов при расплавлении металлозавалки и кипении ванны, а также при растворении легирующих присадок и раскислении стали в дуговой печи с основной футеровкой приведены в табл. 12.

Угар элементов выбирается в зависимости от емкости печи. Нижние значения для печей емкостью 3 т, верхние - для печей емкостью 12 т.

Количество возврата в шихте в зависимости от выхода годного литья из рассчитываемой марки стали составляет 15...45 % и определяется по формуле

$$B = 100 - BG, \quad (1)$$

где  $BG$  - выход годного литья, %.

Содержание легирующего элемента, вносимого в шихту возвратом собственного производства, рассчитывают по формуле

$$\mathcal{E}_{лв} = \mathcal{E}_в \cdot \frac{B}{100}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_в$  - содержание элемента в возврате, %.

Содержание легирующего элемента, вносимого возвратом собственного производства в металл отливки, с учетом угара:

$$\mathcal{E}_{ло} = \mathcal{E}_{лв} \cdot \frac{100 - Y}{100}, \quad (3)$$

где  $Y$  - угар элемента в процессе выплавки стали, % (см. табл. 12).

*Примечание.* Титан и алюминий, имеющиеся в возврате, могут выгорать практически полностью в процессе выплавки стали, поэтому расчет шихты в этом случае необходимо вести без учета содержания их в возврате.

Расход ферросплава (лигатуры) с учетом угара вводимого легирующего элемента рассчитывают по формуле, %

$$\Phi = \frac{(\mathcal{E}_о - \mathcal{E}_{ло}) \cdot 10000}{\mathcal{E}_ф \cdot (100 - Y)}, \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}_о$  - требуемое содержание легирующего элемента в выплавляемой стали;  $\mathcal{E}_ф$  - содержание легирующего элемента в составе ферросплава (лигатуры).

Содержание углерода в стали перед раскислением определяется как разность между требуемым его содержанием и количеством углерода, вносимым в сталь легирующими присадками, %:

$$C_m = C_o - \sum C_f \cdot \frac{\Phi}{100}, \quad (5)$$

где  $C_o$  - требуемое содержание углерода в металле отливки %;  $C_f$  - содержание углерода в легирующей присадке, вводимой в сталь после ее раскисления, %;

$\Phi$  - количество присадки, вводимой в сталь после ее раскисления, % (вычисляется по (4)).

Содержание углерода в шихте должно быть больше, чем в готовой стали, для осуществления процесса кипения стали. Это количество углерода определяется по формуле, %:

$$C_{ш} = \frac{C_{ш} \cdot Y_c}{100} + V_k \cdot \tau_k + C_m, \quad (6)$$

где  $Y_c$  - угар углерода при расплавлении шихты;  $V_k$  - скорость выгорания углерода в период кипения, (0,004...0,008 %/мин);  $\tau_k$  - продолжительность периода кипения, мин (50...90 мин).

Содержание стального лома и чугуна в металлозавалке определяется решением системы уравнений (неизвестными являются содержание стального лома и чугуна):

$$\begin{cases} B + L + Ч + \sum \Phi = 100, \\ C_b \cdot \frac{B}{100} + C_l \cdot \frac{L}{100} + C_{ч} \cdot \frac{Ч}{100} + \sum C_{\phi} \cdot \frac{\Phi}{100} = C_{ш} \end{cases}, \quad (7)$$

где  $B, L, Ч$  - содержание в шихте соответственно возврата, стального лома и чугуна, %;  $\Phi$  - содержание легирующих компонентов, вводимых в шихту или жидкую сталь до ее раскисления, % (см. (4));  $C_b, C_l, C_{ч}, C_{\phi}$  - содержание углерода в соответствующих компонентах шихты, %.

Масса жидкого компонента шихты определяется по формуле

$$Q_k = \frac{Q \cdot \Phi}{100}, \quad (8)$$

где  $Q$  - масса садки печи, кг.

Содержание нелегирующих элементов в шихте рассчитывают по формуле, %:

$$\mathcal{E}_n = \sum \mathcal{E}_{\phi} \cdot \frac{\Phi}{100}, \quad (9)$$

где  $\mathcal{E}_{\phi}$  - содержание нелегирующего элемента в компоненте.



Среднее содержание нелегирующих элементов в жидкой стали определяют по формуле

$$\mathcal{E}_{нжс} = \mathcal{E}_н \cdot \frac{100 - Y}{100}. \quad (10)$$

Расход раскислителей с учетом максимально допустимого содержания раскисляющего элемента в готовом металле определяют по формуле, %:

$$\Phi_p = \frac{(\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_{op} - \mathcal{E}_{np}) \cdot 10000}{\mathcal{E}_p \cdot (100 - Y_p)}, \quad (11)$$

где  $\mathcal{E}_o$  - содержание раскисляющего элемента в металле отливки;  $\mathcal{E}_{op}$  - содержание раскисляющего элемента в стали до раскисления;  $\mathcal{E}_{np}$  - количество раскисляющего элемента, вносимое другими присадками в сталь после ее раскисления;  $\mathcal{E}_p$  - содержание раскисляющего элемента в раскислителе (ферросплаве);  $Y_p$  - угар раскисляющего элемента в процессе раскисления стали (табл. 12). Для алюминия практически полностью выгорающего в ходе плавки, расчет количества необходимого для раскисления можно выполнить по формуле, %

$$\Phi_p = \frac{0,05 \cdot 10000}{\mathcal{E}_p \cdot (100 - Y_p)}, \quad (11.1)$$

где 0,05 – остаточное содержание алюминия, %.

Масса раскислителей устанавливается сверх суммарной массы шихты и определяется по (8).

Содержание фосфора и серы в металле перед выпуском, %:

$$P_m = P + P', \quad (12)$$

$$S_m = S + S', \quad (12.1)$$

где  $P$  и  $S$  - содержание соответственно фосфора и серы после дефосфорации и десульфурации стали;  $P'$  и  $S'$  - количество соответственно фосфора и серы, вносимое в сталь компонентами в восстановительный период.

*Примечание.* Если содержание фосфора и серы перед выпуском металла превышает предельно допустимые значения выплавляемой стали (определяют экспресс-анализом по ходу плавки), необходимо проводить, более глубокую дефосфорацию и десульфурацию ванны печи, т.е. удлинять период окисления примесей.

Расход неметаллических присадок определяется сверх суммарной массы шихты по формуле (8).

Для наведения шлака при плавке стали в дуговой электропечи с основной футеровкой расходуется 4...7 % известняка (в том числе на под печи 2...3 %) и 0,15...0,25 % плавикового шпата. Расход железной руды на окисление избыточного углерода в процессе кипения ванны при увеличении содержания углерода в выплавляемой марке стали от 0,15 до 0,55 % понижается от 7 до 3 %.

Расчет шихты проверяется по содержанию основных легирующих элементов в металле отливки по формуле

$$\mathcal{E}_o = \mathcal{E}_a \cdot \frac{B \cdot (100 - Y)}{10000} + \mathcal{E}_\phi \cdot \frac{\Phi \cdot (100 - Y)}{10000}. \quad (13)$$

Расчет считается выполненным правильно, если содержание основных легирующих элементов в металле отливки не выходит из диапазона, указанного в соответствующих технических условиях на выполняемую марку стали.

### **3. ПРИМЕР РАСЧЕТА ШИХТЫ ДЛЯ ФАСОННОГО СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ**

Задание. Рассчитать шихту для выплавки стали 12Х18Н12М3ТЛ в дуговой электропечи ДСП-12 с основной футеровкой. Выход годного литья составляет 58 %.

Для расчета принимаем следующие средние значения химических элементов, входящих в состав стали 12Х18Н12М3ТЛ, %: С = 0,11; Si = 0,60; Mn = 1,50; Cr = 17,50; Ni = 12,00; Mo = 3,50; Ti = 0,60; S ≤ 0,030; P ≤ 0,035.

Выбор компонентов шихты и последовательность их загрузки. Сталь выплавляется на основе возврата собственного производства стального лома и перелитого чугуна. Для введения легирующих элементов используются феррохром, никель, ферромolibден и ферротитан. Для раскисления применяют ферромарганец, ферросилиций и алюминий.

Сталь выплавляется по полному технологическому процессу с окислением. Последовательность ввода компонентов шихты в печь такова: возврат, стальной лом, чугун и никель - в металлозавалку;

ферромolibден - в ванну в период кипения; ферромарганец и ферросилиций - в начале восстановительного периода; феррохром - после предварительного раскисления; ферротитан - перед выпуском стали;

алюминий - в ковш перед выпуском стали.

Угар элементов. В расчете принят следующий угар элементов, %:

- в процессе расплавления и окисления расплава из компонентов шихты - C = 15 (до начала кипения); Si = 100; Mn = 80; P = 60; S = 45; Cr = 30; Ni = 3; Mo = 6; Ti = 100;
- в процессе растворения ферросплавов в жидкой стали - C = 35; Si = 15; Mn = 10; P = 25; S = 45; Cr = 8; Ni = 0; Mo = 3; Ti = 50;
- в процессе раскисления стали - Mn = 18; Si = 15; Al = 60.

Содержание возврата собственного производства в шихте (1), %:

$$B = 100 - 58 = 42.$$

Содержание легирующих элементов (2), вносимых возвратом в шихту, %:

$$Cr_{лв} = 17,50 \times 42/100 = 7,35; Mo_{лв} = 3,50 \times 42/100 = 1,47;$$

$$Ni_{лв} = 12,00 \times 42/100 = 5,04; Ti_{лв} = 0,60 \times 42/100 = 0,25.$$

Содержание легирующих элементов, вносимых возвратом в жидкий металл к концу окислительного периода (3), %:

$$Cr_{\text{ло}} = 7,35 \cdot \frac{100-30}{100} = 5,14; \quad Mo_{\text{ло}} = 1,47 \cdot \frac{100-6}{100} = 1,38;$$

$$Ni_{\text{ло}} = 5,04 \cdot \frac{100-3}{100} = 4,89; \quad Ti_{\text{ло}} = 0,25 \cdot \frac{100-100}{100} = 0$$

Расход ферросплавов (4), %:

$$\Phi XO15B = \frac{10000 \cdot (17,50 - 5,14)}{65 \cdot (100 - 8)} = 20,66;$$

$$H1 = \frac{10000 \cdot (12,00 - 4,89)}{99,5 \cdot (100 - 3)} = 7,37;$$

$$\Phi Mo58 = \frac{10000 \cdot (3,50 - 1,38)}{58 \cdot (100 - 3)} = 3,77;$$

$$\Phi Ti35 = \frac{10000 \cdot (0,60 - 0)}{35 \cdot (100 - 50)} = 3,43.$$

Содержание углерода в стали перед раскислением (5), %:

$$C_m = 0,11 - 0,02 \times 7,37/100 = 0,109.$$

Требуемое содержание углерода в шихте (6), %:

$$C_{ш} = 15/100 \times C_m + 0,006 \times 70 + 0,109.$$

$$C_{ш} = 0,62.$$

Содержание стального лома и чугуна в шихте (7), %:

$$\begin{cases} B + L + Ч + H1 + \Phi XO15B + \Phi Mo58 + \Phi Ti35 = 100 \\ C_B \cdot \frac{B}{100} + C_L \cdot \frac{L}{100} + C_{\text{Ч}} \cdot \frac{\text{Ч}}{100} + C_{H1} \cdot \frac{H1}{100} + C_{\Phi XO15B} \cdot \frac{\Phi XO15B}{100} + \\ + C_{\Phi Mo58} \cdot \frac{\Phi Mo58}{100} + C_{\Phi Ti35} \cdot \frac{\Phi Ti35}{100} = C_{ш}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 42,00 + L + Ч + 7,37 + 20,66 + 3,77 + 3,43 = 100 \\ 0,12 \cdot 42/100 + 0,30 \cdot L/100 + 3,80 \cdot Ч/100 + 0,02 \cdot 7,37/100 + \\ + 0,15 \cdot 20,66/100 + 0,08 \cdot 3,77/100 + 0,10 \cdot 3,43/100 = 0,62. \end{cases}$$

$$\begin{cases} L + Ч = 22,77; & L = 9,58; \\ 0,003 \cdot L + 0,038 \cdot Ч = 0,53; & Ч = 13,19. \end{cases}$$

Материальный баланс основных компонентов шихты для выплавки стали 12Х18Н12М3ТЛ в дуговой электропечи ДСП-12 номинальной вместимостью 12 т (8), кг:

$$Q_B = 12000 \times 42/100 = 5040;$$

$$Q_{Л} = 12000 \times 9,58/100 = 1149,6;$$

$$Q_{Ч} = 12000 \times 13,19/100 = 1582,8;$$

$$Q_{Н1} = 12000 \times 7,37/100 = 884,4;$$

$$Q_{ФМо58} = 12000 \times 3,77/100 = 452,4;$$

$$Q_{ФХО15Б} = 12000 \times 20,66/100 = 2479,2;$$

$$Q_{ФТн35} = 12000 \times 3,43/100 = 411,6;$$

Всего: 12000.

Содержание нелегирующих элементов в шихте (9), %:

- в компонентах, вводимых до раскисления стали:

$$Si_{ш} = 0,60 \times 42/100 + 0,30 \times 9,58/100 + 0,80 \times 13,19/100 + 0,01 \times 7,37/100 = 0,39;$$

$$Mn_{ш} = 1,5 \times 42/100 + 0,60 \times 9,58/100 + 0,80 \times 13,19/100 = 0,79;$$

$$P_{ш} = 0,035 \times 42/100 + 0,06 \times 9,58/100 + 0,30 \times 13,19/100 = 0,06;$$

$$S_{ш} = 0,030 \times 42/100 + 0,06 \times 9,58/100 + 0,05 \times 13,19/100 + 0,001 \times 7,37/100 = 0,025;$$

- в компонентах, вводимых после раскисления стали:

$$Si_p = 1,60 \times 20,66/100 + 5,00 \times 3,43/100 + 1,0 \times 3,77/100 = 0,52;$$

$$P_p = 0,05 \times 20,66/100 + 0,07 \times 3,43/100 + 0,05 \times 3,77/100 = 0,015;$$

$$S_p = 0,03 \times 20,66/100 + 0,05 \times 3,43/100 + 0,12 \times 3,77/100 = 0,012;$$

Содержание не легирующих элементов в жидкой стали (10), %:

- вносимых компонентами шихты до раскисления стали:

$$Mn_{жс} = 0,79 \cdot \frac{100 - 75}{100} = 0,19; \quad S_{жс} = 0,025 \cdot \frac{100 - 50}{100} = 0,013;$$

- Вносимых компонентами шихты после раскисления стали:

$$Si_{.m} = 0,52 \cdot \frac{100 - 8}{100} = 0,48; \quad P_{.m} = 0,015 \cdot \frac{100 - 20}{100} = 0,012;$$

$$S_{.m} = 0,012 \cdot \frac{100 - 40}{100} = 0,007.$$

Расход раскислителей (11), %:

$$\Phi_{Mn05} = \frac{10000 \cdot (1,50 - 0,19)}{85 \cdot (100 - 18)} = 1,88;$$

$$\Phi_{C45} = \frac{10000 \cdot (0,60 - 0,012 - 0,48)}{45 \cdot (100 - 15)} = 0,28;$$

$$AB88 = \frac{0,05 \cdot 10000}{88 \cdot (100 - 60)} = 0,14.$$

Материальный баланс раскислителей (8), кг:

$$Q_{\Phi_{Mn05}} = 12000 \times 1,88/100 = 225,5;$$

$$Q_{\Phi_{C45}} = 12000 \times 0,28/100 = 34;$$

$$Q_{AB88} = 12000 \times 0,14/100 = 17.$$

Расход неметаллических присадок (8), кг:

$$Q_{и} = 12000 \times 5,50/100 = 660;$$

$$Q_{пш} = 12000 \times 0,20/100 = 24;$$

$$Q_{жр} = 12000 \times 7,00/100 = 840.$$

Проверка расчета шихты (13). %:

$$Cr [16,0...19,0] = 17,5 \cdot \frac{42}{100} \cdot \frac{100 - 30}{100} + 65,0 \cdot \frac{20,66}{100} \cdot \frac{100 - 8}{100} = 17,50;$$

$$Ni [11,0...13,0] = 12,0 \cdot \frac{42}{100} \cdot \frac{100 - 3}{100} + 99,5 \cdot \frac{7,37}{100} \cdot \frac{100 - 3}{100} = 11,99;$$

$$\text{Mo}[3,0...4,00] = 3,5 \cdot \frac{42}{100} \cdot \frac{100-6}{100} + 58,0 \cdot \frac{3,77}{100} \cdot \frac{100-3}{100} = 3,45;$$

$$\text{Ti}[0,50...0,70] = 0,60 \cdot \frac{42}{100} \cdot \frac{100-100}{100} + 35,0 \cdot \frac{3,43}{100} \cdot \frac{100-50}{100} = 0,60;$$

Содержание фосфора и серы (12), %:

$$P_m = 0,027 + 0,012 = 0,039; S_m = 0,013 + 0,007 = 0,02.$$

Содержание фосфора и серы находится практически в пределах допустимых норм.

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

- Освоить методику расчета шихты.
- Провести расчет шихты для указанной марки стали.
- Повторить расчет для той же марки стали на персональном компьютере, используя программу «Расчет шихты».
- Сравнить результаты расчетов, сделать выводы и дать рекомендации.

### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- Химический состав выплавляемой стали и всех компонентов шихты.
- Сведения по угару элементов при выплавке стали.
- Описание технологии ведения плавки.
- Расчетные формулы и расчет шихты.
- Распечатка состава шихты рассчитанной с применением ЭВМ.
- Выводы и рекомендации.

**Примерный расход шихтовых материалов на 1 т годных отливок**

Наименование	Расход при различных плавках, кг			
	Мартеновская печь	Электропечь с футеровкой		Малое бессемеров- вание
		основной	кислой	
Передельный чугун	623	24	-	1147
Стальной лом	328	1017	1100	19
Стальная стружка	94	27	-	-
Возвраты собственного производства	774	567	532	806
Зеркальный чугун	13	-	-	-
Ферромарганец ФМн-75	19	17	20	44
Ферросилиций ФС-45	17	15	15	33
Всего завалки	1887	1667	1667	2220
Раскислители:				
Алюминий	1,8	1,6	1,6	1,8
Силикокальций	-	1,7	1,7	-
Выход годных отливок в % от завалки	53	60	60	45



**Угар и другие безвозвратные потери при производстве стального литья  
(усредненные практические данные)**

Наименование плавильного агрегата	Угар и безвозвратные потери в % к весу завалки металлов	
	основной процесс	кислый процесс
Мартеновские печи	6	8
Электropечи	4	5
Бессемеровский конвертер	16	18
Дуплекс-процесс (мартеновская печь и электropечь)	6	7
Триплекс-процесс (вагранка - конвертер - электropечь)	18	20
Индукционная печь	2	3

**Влияние элементов чугуна на плавку стали**

Наименование элемента	Роль элемента
Кремний (Si)	При окислении выделяет тепло. Но одновременно с увеличением окислившегося кремния увеличивается количество наводимого шлака и продолжительность плавки. При окислении 1 кг кремния в чугуне образуется 2 кг кремнезема, для ошлаковывания которого требуется 5 кг извести или 10 кг известняка. Повышение содержания кремния в чугуне вызывает увеличение расхода железной руды, а также уменьшение выхода годной стали (потеря металла в шлаке)
Марганец (Mn)	Марганец способствует интенсификации процесса обессеривания. Положительно влияет на тепловой баланс плавки
Фосфор (P)	Присутствие фосфора в чугуне нежелательно, так как удаление его в процессе плавки стали затруднительно. Содержание в чугуне более 0,3 % P недопустимо; для сталей с высоким содержанием углерода — не более 0,2 % P
Сера (S)	Присутствие серы в чугуне нежелательно, так как удаление ее связано с большими трудностями и требует дополнительных затрат времени, топлива и электроэнергии и добавочных материалов. Чугуны плавки для литья должны содержать не более 0,06 % S для основного процесса и 0,025 % — для кислого
<i>Примечание.</i> Содержание углерода в чугунах не оговаривается ГОСТом, практически содержание углерода в пределах 3,2...4,2 %.	

**Характеристика стального лома и отходов  
для электросталеплавильных печей  
(класс I — для нелегированных, классы II, III — для легированных сталей)**

Показатель качества	Класс		
	I	II	III
Состояние поставки	Куски, приведенные в состояние, удобное для загрузки печей, шихтовые слитки. Трубы не допускаются	Куски, брикеты и пакеты из листовой обрести, проволоки и стружки, стальной скрап	То же, что и для класса II, а также стальная стружка и скрап
Степень чистоты	Не допускается наличие цветных металлов и вредных примесей; металл не должен быть проржавленным, горелым и разъеденным кислотами и щелочами. Налет ржавчины допускается. Засоренность безвредными примесями допускается до 1 % по весу.	То же, что для класса I. Засоренность не должна превышать 2% для куска и 3% для скрапа по весу.	То же, что для класса II.
Габаритные размеры	Размеры куска должны быть не более 600x350x250 мм. Толщина металла должна быть не менее 10 мм.	То же, что для класса I. Толщина металла от 4 до 10 мм. Размеры пакетов не должны превышать 500x400x500 мм.	Допускаются витки стружки не более 100 мм. Витки до 200 мм допускаются в количестве не более 3 % по весу. Толщина металла до 4 мм.

Окончание табл. 4

Показатель качества	Класс		
	I	II	III
Вес	Куски не менее 2 кг.	Куски не менее 0,5 кг. Вес пакетов должен быть не менее 40 кг, плотность не менее 2 кг/дм <sup>3</sup> . Количество стружки, осыпавшейся от брикетов при транспортировании и разгрузке у потребителя, не должно превышать 5 % от веса партии.	Куски до 0,5 кг. Вес стружки не регламентируется.
Примечание: При ручной загрузке вес куска не должен превышать 40 кг.			

Таблица 5

### Характеристика элементов, присутствующих в стальном ломе

Группа	Наименование элементов	Поведение в процессе плавки	Влияние на ведение процесса или качество стали
I	Кремний, алюминий, титан, цирконий, бор, ванадий, вольфрам.	Полностью переходят в шлак (вольфрам частично остается в металле).	Не оказывают непосредственного влияния на состав стали. Повышенное содержание кремния приводит к получению высококремнистых шлаков, которые плохо влияют на стойкость печи и понижают основность шлака, тем самым затрудняя удаление серы и фосфора.

Группа	Наименование элементов	Поведение в процессе плавки	Влияние на ведение процесса или качество стали
II	Марганец, фосфор, сера, хром.	Распределяются между металлом и шлаком.	Марганец — желательный элемент. Фосфор и сера — вредные примеси (за исключением марок сталей, в которых они являются легирующими). Хром при выплавке легируемых им марок полезен; вреден при конвертерном процессе, так как создает плотный шлак, что приводит в процессе продувки к выбросу шлака и даже металла. Присутствие хрома в стальном ломе при выплавке не легируемых им марок крайне нежелательно, так как увеличивает продолжительность плавки.
III	Медь, никель, олово, молибден, кобальт, мышьяк, сурьма.	Полностью растворяются в стали.	Олово, мышьяк и сурьма — вредные примеси. Медь, никель, молибден и кобальт при выплавке легированных ими марок сталей полезны; при выплавке прочих марок — крайне нежелательны (в ГОСТах на эти марки стали оговорены верхние пределы).
IV	Кадмий, цинк, свинец.	Удаляются из шлака и металла в парообразном состоянии.	Не оказывают влияния на ход процесса. Могут ухудшать работу печи. Пары цинка удаляются с отходящими газами. Окись цинка может дать отложения в насадках регенеративных камер. Свинец (имеет низкую температуру плавления и большой удельный вес) скапливается на поде печи, проникает в мельчайшие ее трещины и поры и может вызвать уход металла (через мельчайшие трещины в поде).

Таблица 6

**Добавочные материалы и флюсы.  
Химический состав железных руд**

Группы место- рожде- ний же- лезной руды	Химический состав в %											
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Mn	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	S	H <sub>2</sub> O	Про- чие
А	62,25	7,8	1,0	0,18	0,05	—	0,16	0,035	—	—	—	28,525
Б	86,74	2,39	1,99	1,21	0,21	1,99	—	0,009	0,38	0,034	4,42	0,637
В	87,57	5,90	3,15	0,80	0,60	—	0,08	0,064	—	0,021	—	1,815

Таблица 7

**Химический состав плавикового шпата**

Марка плавикового шпата	Химический состав в %			Примечание
	CaF <sub>2</sub> ,	не более		
		Si	P	
1	92	5	0,05	Применяется для разжижения шлака
2	85	—	0,05	

Таблица 8

**Химический состав известняков и извести**

Наименование и марка	Содержание в %					
	CaO	SiO <sub>2</sub> , не более	Нерастворимый	Сумма окислов	Мелочь, не более,	Кусковатость, мм
Известняк	52	1,6	2	—	2	25...100
2	50	3,2	4	—	2	25...100
3	49	4,0	5	—	2	25...100
Известь	85	4,0	—	2	10	25...100

Таблица 9

**Примерные нормы расхода шихтовых материалов на 1 т жидкого металла и примерный баланс плавки**

Наименование	Расход при различных плавках							
	Мартеновская печь		Электропечь с футеровкой				Малое бессемирование	
			основной		кислой			
	кг	%	в кг	%	кг	%	кг	%:
Передельный чугун	351	33	16	1,46	—	—	614	51,65
Стальной лом	185	17,4	648	61	700	65,9	10	0,85
Стальная стружка	53	5	17	1,62	—	—	—	—
Возврат собственного производства	436	41	361	34	340	32	464	39
Зеркальный чугун	7	0,7	—	—	—	—	—	—
Ферромарганец ФМн45	11	1	11	1	13	1,2	24	2,1
Ферросилиций ФС10	11	1	—	—	—	—	60	5
Ферросилиций ФС45	11	1	—	—	—	—	60	5
Всего завалки	1063	100	1063	100	1063	100	1190	100

Наименование	Расход при различных плавках							
	Мартенов- ская печь		Электропечь с футеровкой				Малое бессемирова- ние	
			основной		кислой			
	кг	%	в кг	%	кг	%	кг	%:
Угар и невозвратные потери	1063	100	1063	100	1063	100	1190	100
Жидкий металл	1000	94	1000	94	1000	94	1000	84
Алюминий	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1
Силикокальций	—	—	1	0,1	1	0,1	—	—

*Примечание.* Примерные нормы расхода для кислого и основного процессов (мартеновские печи и бессемеровские конвертеры) следует брать с учетом угара, приведенного в табл. 2.



Таблица 10

## Химический состав сталей для отливок

Вариант	Марка стали	Массовая доля элемента, %												Ем- кость печи, т	
		С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Nb	Др. элемен- ты	S		P
													Не более		
1	10X14НДЛ	0,08 0,10	0,20 0,40	0,30 0,60	13,5 15,0	1,20 1,60	-	-	-	-	-	1,20 1,60 Cu	0,030	0,03	10
2	20X12ВНМФЛ	0,17 0,23	0,20 0,60	0,50 0,90	10,5 12,5	0,50 0,90	0,50 0,70	0,15 0,30	0,70 1,10	-	-	-	0,025	0,03	5
3	08X14Н7МЛ	До 0,08	0,20 0,75	0,30 0,90	13,0 15,0	6,00 8,50	0,50 1,00	-	-	-	-	-	0,03	0,03	5
4	35X23Н7СЛ	0,30 0,40	0,50 1,20	0,50 0,85	21,0 25,0	6,00 8,00	-	-	-	-	-	0,30 Cu	0,035	0,035	3
5	20X18Н19М3ТЛ	0,15 0,25	0,20 1,00	1,00 2,00	16,0 19,0	18,0 20,0	3,00 4,00	-	-	0,60 0,80	-	-	0,030	0,035	5
6	18X25Н19СЛ	До 0,18	0,80 2,00	0,70 1,50	22,0 26,0	17,0 21,0	0,20	0,20	0,40	0,20	-	-	0,030	0,035	5
7	30ХНМЛ	0,25 0,35	0,20 0,40	0,40 0,90	1,30 1,60	1,30 1,60	0,20 0,30	-	-	-	-	0,30 Cu	0,040	0,040	5
8	08ГДНФЛ	0,08 0,10	0,15 0,40	0,60 1,00	0,20 0,30	1,15 1,55	-	0,06 0,15	-	-	-	0,80 1,20 Cu	0,035	0,035	3

Продолжение табл. 10

Вариант	Марка стали	Массовая доля элемента, %													Ем- кость печи, т
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Nb	Др. эле- менты	S	P	
													Не более		
9	12ДХН1МФЛ	0,10 0,18	0,20 0,40	0,30 0,55	1,20 1,70	1,40 1,80	0,20 0,30	0,08 0,15	-	-	-	0,40 0,65 Cu	0,030	0,030	5
10	25Х2Г2ФЛ	0,22 0,27	0,70 0,90	1,60 1,80	1,80 2,20	0,20 0,30	-	0,15 0,20	-	-	-	-	0,025	0,025	3
11	20Х13ТЮЛ	0,16 0,25	0,20 0,80	0,30 0,80	12,0 14,0	0,30 0,50	-	-	-	0,25 0,40	-	0,12 0,20 Al	0,025	0,030	3
12	15Х13МБЛ	0,10 0,15	0,20 0,80	0,30 0,80	12,0 14,0	0,15 0,25	0,40 0,65	-	-	-	0,35 0,55	0,030 Cu	0,025	0,030	3
13	40Х24Н12СЛ	0,30 0,40	0,50 1,50	0,30 0,80	22,0 26,0	11,0 13,0	-	-	-	-	-	-	0,030	0,035	10
14	11ОГ14МЛС	0,90 1,20	0,40 0,90	11,5 14,5	0,25 0,40	0,30 0,50	0,10 0,20	-	-	-	-	-	0,020	0,020	3
15	35Х19Н9МВБТ Л	0,25 0,35	0,60 0,80	0,90 1,50	18,0 20,0	8,00 10,0	1,00 1,50	-	1,00 1,50	0,20 0,50	0,20 0,50	-	0,020	0,035	10
16	11ОГ13Л	0,90 1,40	0,30 1,00	11,5 15,0	0,50 1,00	0,50 1,00	-	-	-	-	-	0,030 Cu	0,050	0,120	10
17	35Х25Ю5ТЛ	0,30 0,40	0,60 1,00	0,40 0,60	24,0 26,0	0,20 0,50	-	-	-	0,20 0,40	-	4,50 5,50 Al	0,025	0,025	5
18	20Х23ВДТЛ	0,15 0,25	0,40 0,60	0,55 0,75	21,0 24,0	-	-	-	0,35 0,55	0,40 0,55	-	0,25 0,40 Cu	0,025	0,030	5

Окончание табл. 10

Вариант	Марка стали	Массовая доля элемента, %												Ем- кость печи, т	
		С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Nb	Др. эле- менты	S		P
													Не более		
19	12Х25Н3ЮЗЛ	0,08 0,15	0,45 0,60	0,50 0,80	24,0 26,0	2,50 3,50	-	-	-	-	-	2,50 3,50 Al	0,020	0,030	10
20	15Х18Н3МДЛ	0,12 0,20	0,35 0,55	0,60 0,80	17,0 19,0	2,50 3,50	0,55 0,80	-	-	-	-	0,35 0,50 Cu	0,020	0,030	3

Таблица 11

**Шихтовые материалы, применяемые при выплавке сталей для отливок**

№ п/п	Компонент	ГОСТ	Марка	Массовая доля элемента, %						
				основной	угле- род	крем- ний	мар- ганец	фос- фор	сера	другие эле- менты
1	Стальные лом и отходы	2787-75	1А...4А 2Б...5Б	-	0,30	0,30	0,50	0,06	0,06	-
2	Чугун передельный	805-80	ПЛ1 ПЛ2	-	3,80	0,80	0,70	0,30	0,05	-
3	Ферросилиций	1415-78	ФС 45	45,0	0,50	45,00	0,60	0,05	0,02	-
			ФС 75	75,0	0,10	75,00	0,40	0,05	0,02	-

Продолжение табл. 11

№ п/п	Компонент	ГОСТ	Марка	Массовая доля элемента, %						
				основной	угле- род	крем- ний	мар- ганец	фос- фор	сера	другие эле- менты
4	Ферромарганец	4755-91	ФМн 0,5	85,00	0,50	2,00	85,00	0,30	0,03	-
			ФМн 1,5	85,00	1,50	2,50	85,00	0,30	0,03	-
			ФМн 75	75,00	7,00	1,00	75,00	0,45	0,30	-
5	Феррохром	4757-89	ФХ015Б	65,00	0,15	1,50	-	0,05	0,03	0,3 Al
			ФХ050Б	65,00	0,50	2,00	-	0,05	0,03	-
			ФХ020Б	67,00	2,00	2,00	-	0,05	0,04	-
6	Никель	849-70	Н1, Н2	99,50	0,02	0,01	-	-	0,001	-
7	Медь	859-78	М1к	99,50	-	-	-	0,001	0,004	-
8	Ферромolibден	4759-79	ФМо 58	58,00	0,08	1,00	-	0,05	0,12	0,12 W 0,8 Cu
9	Ферровольфрам	17293-82	ФВ 70	70,00	0,30	0,50	0,40	0,04	0,08	1,5 Mo
10	Феррованадий	27130-86	FeV35B	35,00	0,75	3,00	2,00	0,20	0,10	-
11	Ферротитан	4761-80	ФТи 35	35,00	0,10	5,00	-	0,07	0,05	8,0 Al
12	Феррониобий	16773-85	ФН 2	60,00	0,25	2,00	-	0,15	0,05	6,0 Al
13	Алюминий	295-79	АВ 88	88,00	-	4,00	-	-	-	3,5 Cu 3,0 Mg
14	Марганец металлический	6008-90	Мр 1	96,50	0,10	0,80	96,50	0,05	0,05	-
			Мр 2	95,00	0,20	1,80	95,00	0,07	0,05	-

Окончание табл. 11

№ п/п	Компонент	ГОСТ	Марка	Массовая доля элемента, %						
				основной	угле- род	крем- ний	мар- ганец	фос- фор	сера	другие эле- менты
15	Силикомарганец	4756-77	СМн 17	-	1,00	23,00	65,00	0,10	0,03	-
			СМн 20	-	1,70	18,00	65,00	0,10	0,03	-
16	Ферросилико- хром	11861-77	ФСХ 40	-	0,20	40,00	-	0,03	0,02	35,0 Cr
17	Ферробор	14848-69	ФБ 6	6,00	-	12,00	-	-	-	10,0 Al
18	Электродный бой	-	-	-	86,00	-	-	-	-	-

*Примечание.* Если при расчете шихты возникают затруднения, следует выбрать другие материалы, пользуясь соответствующими стандартами

Таблица 12

## Угар элементов при плавке стали в дуговых электропечах с основной футеровкой, %

Элемент	Из компонентов металлозавалки		Из присадок, вводимых в жидкую сталь	Вид вводимого элемента	Период ввода присадки
	переплав без окисления	переплав с окислением			
Углерод	10...25	До заданного значения	25...35	Электронный бой	В конце окислительного периода
Кремний	40...60	90... 100	5...10	Ферросилиций	В период раскисления
Марганец	25 ... 50	70 ... 80	5 ... 10	Ферромарганец	В период раскисления
Хром	10...15	20...30	3...8	Феррохром	После предварительного раскисления
Никель	0...2	0...3	0	Никель	В шихту
Молибден	3...5	3...6	0...3	Ферромolibден	В начале кипения
Вольфрам	5...10	10...15	2...8	Ферровольфрам	После предварительного кипения
Ванадий	15...30	60...70	7...10	Феррованадий	После полного раскисления
Титан	80...90	95...100	30...50	Ферротитан	То же
Алюминий	100	100	50...60	Алюминий	В период раскисления в ковш
Ниобий	25...30	30...35	12...15	Феррониобий	После предварительного раскисления
Медь	0...2	0...3	0...3	Медь	То же
Фосфор	30...40	50...60	20...25	Примесь в присадках	-
Сера	25...30	35...45	35...45	То же	-

Таблица 13

**Химический состав компонентов шихты для выплавки стали марки 12Х18Н12М3ТЛ**

Компонент	Х и м и ч е с к и й с о с т а в								
	С	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti
ФХО15Б	0,150	1,500	0,000	0,030	0,050	65,000	0,000	0,000	0,000
Н1	0,020	0,010	0,000	0,000	0,001	0,000	99,500	0,000	0,000
ФМо58	0,080	1,000	0,000	0,120	0,050	0,000	0,000	58,000	0,000
ФТи35	0,100	5,000	0,000	0,050	0,070	0,000	0,000	0,000	35,000
ПЛ2	3,800	0,800	0,700	0,050	0,300	0,000	0,000	0,000	0,000
2Б	0,300	0,300	0,500	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
Возврат	0,110	0,600	1,500	0,030	0,035	17,500	12,000	3,500	0,600

Таблица 14

**Состав шихты для выплавки стали марки 12Х18Н12М3ТЛ**

Компонент	Марка	Содержание	
		в %	в кг
ФЕРРОХРОМ	ФХО15Б	20,66	2479,26
НИКЕЛЬ	Н1	7,37	884,36
ФЕРРОМОЛИБДЕН	ФМо58	3,77	452,42
ФЕРРОТИТАН	ФТи35	3,43	411,63
ЧУГУН	ПЛ2	13,19	1582,76
СТАЛЬНОЙ ЛОМ	2Б	9,58	1149,57
ВОЗВРАТ	12Х18Н12М3ТЛ	42,00	5040,00
ВСЕГО:		100,00	12000,00
<b>РАСХОД РАСКИСЛИТЕЛЕЙ</b>			
ФЕРРОМАРГАНЕЦ	ФМн1,5	1,88	225,85
ФЕРРОСИЛИЦИЙ	ФС45	0,28	33,65
АЛЮМИНИЙ	АВ88	0,14	16,82
ИТОГО:		102,30	12275,32